



Badania grawimetryczne w wybranych szybach górniczych na terenie GZW

Gravimetric research in selected mine shafts in the Upper Silesian Coal Basin

Dr hab. inż. Janusz Madej^{*)}

Treść: Artykuł prezentuje wyniki badań grawimetrycznych wykonanych w szybach górniczych. Omówiono metodę pionowego profilowania grawimetrycznego, przedstawiając fizyczne podstawy jej zastosowania. Zaprezentowano metodykę zarówno pomiarów grawimetrycznych w szybie, jak i sposób przetwarzania ich wyników. W pracy przedstawiono oryginalną metodę obliczania poprawki górniczej siły ciężkości od przewodu szybowego. Jej zastosowanie przyczynia się do otrzymywania gęstości objętościowych skał, występujących poza obudową szybu, zbliżonych do wartości rzeczywistych. W wyniku przeprowadzonej interpretacji badań wykryto strefy rozluźnień ośrodka skalnego wokół szybów. Strefy te mogą stanowić źródło stwierdzonych uszkodzeń obudowy i zmian w położeniu jej elementów.

Abstract: This paper presents the results of gravimetric research conducted in mine shafts. The method of vertical gravimetric survey is discussed in the context of physical grounds of its application. Both the methodology of gravimetric measurements in mine shafts and data processing are presented. This paper presents an original method of calculating gravity correction related to a mine shaft. The use of it contributes to obtaining total density values of the rock outside the shaft lining close to the actual values. As a result of the interpretation of the research results, a loosening zone in the rock mass surrounding the shafts was detected. Loosening zones may cause determinable damage in shaft lining and changes in the location of its elements.

Słowa kluczowe:

badania grawimetryczne w szybach górniczych, poprawka górnicza siły ciężkości, gęstość interwałowa

Key words:

gravimetric research in mine shafts, gravity correction, interval density

1. Wprowadzenie

Szyb górniczy w kopalniach głębinowych spełnia wiele bardzo ważnych zadań.

Dla utrzymania jego funkcji niezmiernie istotnym problemem jest bezpieczna eksploatacja szybu. Zależy ona od wielu czynników, wśród których najważniejsze wiążą się z warunkami hydrogeologicznymi i geomechanicznymi górotworu.

W wyniku zmienności tych warunków lub wzmożonego i stałego ich oddziaływania na obudowę szybu może on ulec uszkodzeniu.

Najbardziej jednak niebezpieczne są procesy prowadzące do powstawania pustek skalnych poza obudową szybu. Nim do tego dojdzie, następuje systematyczne wymywanie materiału skalnego spoza obudowy szybu. Jest rzeczą bardzo ważną by proces ten uchwycić w początkowym jego stadium. W tym celu zastosowanie jednej z metod geofizycznych – grawimetrii, wydaje się najtrafniejszym wyborem.

Metody geofizyczne w badaniach budowy geologicznej opierają się na śledzeniu zjawisk związanych z występowaniem zróżnicowania wśród parametrów fizycznych skał. Sposób, w jaki budowa geologiczna może być rozpoznawana, zależy od najbardziej skonstrastowanego parametru fizycznego.

Rozwój metodyki badań geofizycznych oraz postęp w opracowywaniu metod interpretacji ich wyników następuje zwykle w sytuacjach konieczności poznania szczegółowej budowy geologicznej górotworu. Stosowanie zaś różnych metod geofizycznych i ich wersji, wynika z faktu, iż istnieje ścisły związek mierzonych wielkości fizycznych z przyczynami indukowanymi w górotworze działalnością górniczą. Skutki tej działalności oraz zmieniające się np. warunki hydrogeologiczne, powodują powstawanie struktur i form różniących się własnościami fizycznymi. Wśród tych własności wyróżnia się skonstrastowanie skał pod względem ich gęstości objętościowej. Zmienność tego parametru w badanym ośrodku geologicznym powoduje powstawanie zróżnicowanego obrazu pola siły ciężkości, który śledzić można metodą grawimetryczną. Metoda ta służyć może do badania górotworu wokół szybu górniczego. Część zagadnień związanych z bezpieczną eksploatacją szybu górniczego rozwiązuje się za pomocą pionowego profilowania grawimetrycznego (PPGR) [1], [2], [3], [4].

Jest to bezinwazyjna metoda badania stanu górotworu za obudową szybu. Dzięki niej wykrywa się pustki, wymycie, rozluźnienia materiału skalnego za obudową szybu. Źródłem poznania tych form jest pomierzony w szybie rozkład w pionie anomalii siły ciężkości Bouguera. Stanowi on podstawę do przeprowadzania jego interpretacji oraz obliczeń gęstości skał występujących za obudową szybu.

^{*)} AGH w Krakowie

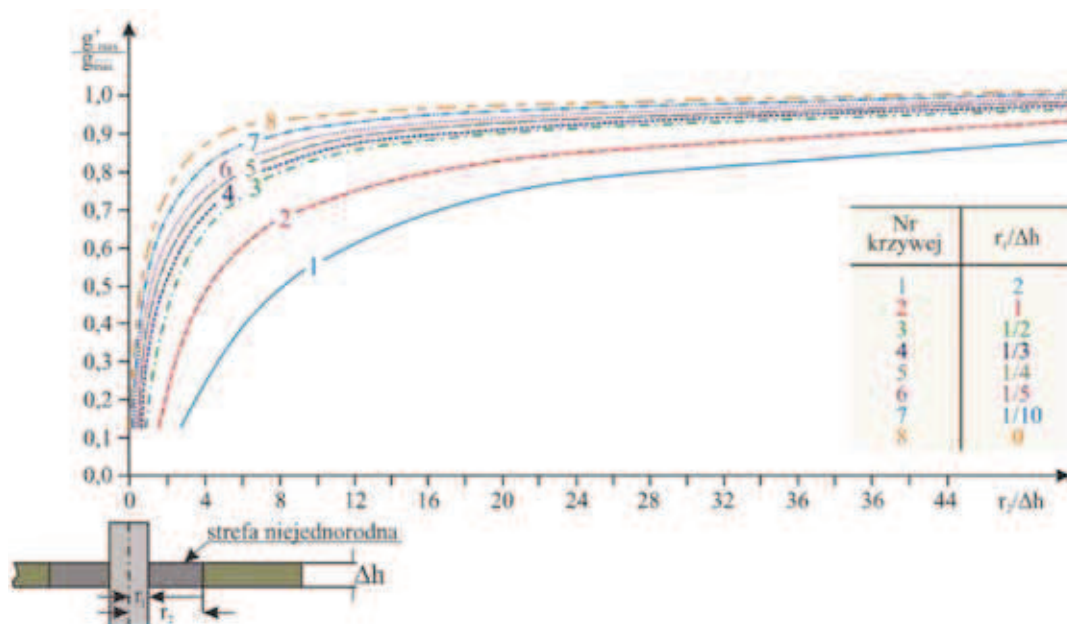
2. Podstawy metody pionowego profilowania grawimetrycznego (PPGR)

U podstaw metody PPGR leży wykryta przez McCulloha [10] prawidłowość. Wskazuje ona, iż ponad 90 % efektu grawimetrycznego od poziomej, nieskończonej warstwy skalnej ograniczonej od góry i od dołu położeniami punktów pomiarowych, generuje ta jej część, która przylega do profilu pomiarowego w promieniu równym pięciokrotnej jej miąższości.

Zależność tę przedstawia krzywa 8 na rysunku 1 [11]. W przypadku wykonywania pomiarów w szybie górniczym zależność ta jest funkcją promienia szybu i jego stosunku do miąższości badanej warstwy [6].

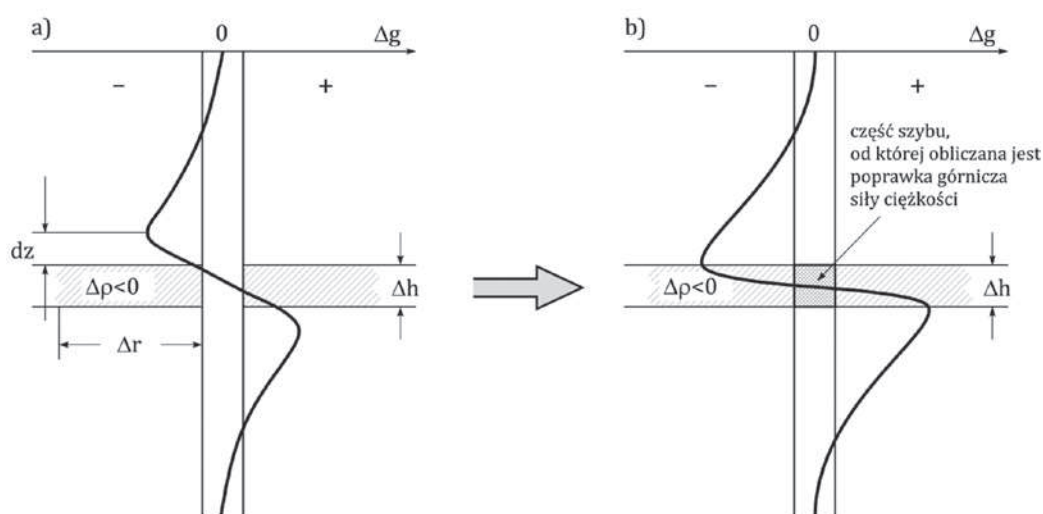
Zależność ta dotyczy wyłącznie sytuacji, gdy analizowany jest rozkład pomierzonych zmian siły ciężkości w szybie, bez wprowadzonej poprawki górniczej siły ciężkości na jego oddziaływanie.

W takim przypadku, rozkład siły ciężkości w pionie od poziomej warstwy, w której w bezpośrednim otoczeniu szybu nastąpiły zmiany gęstości, przedstawia wykres umieszczony na rysunku 2a. Wyraźnie widać, iż rozkład PPGR osiąga wartości ekstremalne w punktach położonych powyżej i poniżej granicy warstwy o wielkość d . Wiadomo jednak, że w badaniach grawimetrycznych wykonywanych w pionie, następuje na granicach warstw, różniących się gęstością objętościową, zmiana znaku gradientu pionowego siły ciężkości. Innymi słowy położenia punktów, w których rozkład PPGR osiąga wartości ekstremalne, wyznaczają granice warstw. Aby więc wyznaczyć te granice należy do wyników pomiarów wprowadzić odpowiednią poprawkę siły ciężkości ze względu na obecność rury szybowej. Po wprowadzeniu tego typu poprawki wykres zmian siły ciężkości przyjmuje postać przedstawioną na rysunku 2b. Ekstrema krzywej rozkładu PPGR wyznaczają granice warstwy różniące się gęstością od otoczenia.



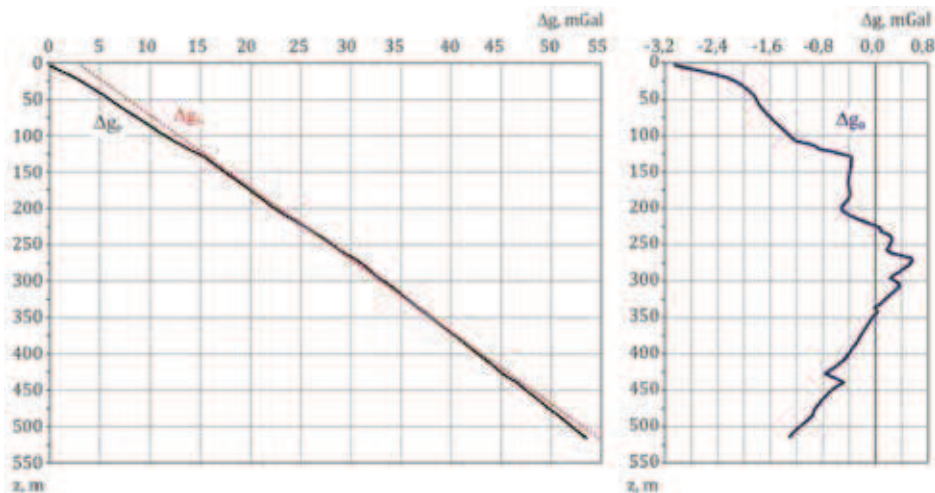
Rys. 1. Względna zmiana siły ciężkości w pionie wywołana strefą niejednorodną występującą poza obudową szybu

Fig. 1. Relative vertical change of gravity caused by a heterogeneous zone outside the shaft lining



Rys. 2. Rozkłady w pionie siły ciężkości od warstwy o ograniczonych rozmiarach w poziomie bez poprawki górniczej na szyb – a) oraz razem z nią – b)

Fig. 2. Vertical distribution of gravity in relation to the horizontal layer of limited size without gravity correction – a), and with gravity correction – b)



Rys. 3. Wyniki badań grawimetrycznych w szybie Tadeusz

Δg_p – pomierzona wartość siły ciężkości Δg
 Δg_N – wartość średnia Δg
 Δg_B – wartości anomalii Bouguera

Fig. 3. Results of gravimetric research in the Tadeusz mine shaft

Δg_p – measured value of gravity Δg
 Δg_N – average value of Δg
 Δg_B – value of Bouguer anomaly

Podstawową wielkością, będącą źródłem informacji o strukturze udostępnionej przez szyb górotworu jest rozkład w pionie siły ciężkości. Na rysunku 3 oznaczono go symbolem Δg_p . Stanowi on z kolei podstawę do obliczeń anomalii Bouguera. W tym celu wyznaczana jest średnia zmiana siły ciężkości z głębokością Δg_N . Jest ona zatem hipotetyczną zmianą siły ciężkości w sytuacji gdy ośrodek skalny ma stałą gęstość. Anomalia Bouguera natomiast, jako różnica $\Delta g_p - \Delta g_N$, stanowi superpozycję grawitacyjnego wpływu warstw o różnych gęstościach i oddziaływania istniejących w nich niejednorodności i przedstawiono ją na rysunku 3. Rozkład tej anomalii jest podstawowym materiałem źródłowym, który służy do wnioskowania o budowie geologicznej ośrodka skalnego. Wnioskowanie to opiera się na udokumentowanych związkach pomierzonego rozkładu z parametrami fizycznymi badanych struktur i form geologicznych. Rozkład anomalii Bouguera służy również do obliczania tzw. gęstości interwałowych, o czym będzie mowa w następnym rozdziale.

3. Metodyka badań i interpretacji

Pomiary siły ciężkości w pionie wykorzystuje się do obliczeń gęstości objętościowej skał. Odnosi się ona do warstwy płaskorównoległej ograniczonej w pionie położeniami punktów pomiarowych. Gęstość w ten sposób obliczona nosi nazwę gęstości interwałowej.

Gęstość interwałowa ρ_i dla warstwy o miąższości Δh wynosi [2]

$$\rho_i = \bar{\rho} + \Delta \rho_i \quad (1)$$

gdzie:

$$\bar{\rho} = 3,685 - 11,94 \frac{\Delta g_N}{h}, \quad 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (2)$$

$$\Delta \rho_i = -11,94 \frac{\Delta g_B}{\Delta h}, \quad 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (3)$$

Wielkość $\bar{\rho}$ jest wartością średnią gęstości całego kompleksu skalnego o miąższości h odpowiadającej różnicy głębokości położenia pierwszego i ostatniego punktu po-

miarowego w szybie, na odcinku której średnia zmiana siły ciężkości wynosi Δg_N .

Symbol natomiast Δg_B oznacza zmianę anomalii siły ciężkości Bouguera w interwale Δh .

Pod pojęciem anomalii Bouguera rozumie się tu wielkość

$$\Delta g_B = \Delta g_p - \Delta g_N \quad (4)$$

gdzie: Δg_p to wartość pomierzona siły ciężkości wraz z jej poprawkami.

Z powyższego wynika, iż gęstość interwałowa warstwy jest funkcją zarejestrowanego w niej gradientu pionowego siły ciężkości: $\Delta g_B / \Delta h$.

Na rysunku 4 przedstawiono możliwe położenia punktów pomiarowych w stosunku do granic warstwy. W przypadku położenia punktów pomiarowych, jak zobrazowano to w częściach a) i b), obliczone gęstości warstwy ρ są nieprawidłowe. Jedynie w przypadku c), gdzie usytuowanie punktów obserwacyjnych PPGR jest w interwale miąższości warstwy daje możliwość wyznaczenia gradientu pionowego siły ciężkości w warstwie, a obliczona na jego podstawie gęstość jest wartością poprawną.

W celu poprawnego obliczenia gęstości do obliczeń anomalii Bouguera wprowadza się odpowiednie poprawki siły ciężkości. Są to – poprawka topograficzna oraz poprawka górnicza.

Poprawka topograficzna eliminuje grawitacyjny wpływ rzeźby terenu wokół szybu, a poprawka górnicza uwzględnia efekt grawitacyjny oddziaływania przewodu szybowego oraz wyrobisk górniczych w bezpośrednim sąsiedztwie szybu.

O ile procedury obliczeniowe poprawki topograficznej i górniczej w odniesieniu do wyrobisk towarzyszących szybowi, są powszechnie znane [2], [8], o tyle proces uwzględnienia grawitacyjnego wpływu samego przewodu szybowego wymaga więcej uwagi. Znany z literatury sposób uwzględniania grawitacyjnego wpływu szybu w postaci linii materialnej o stałej gęstości nie pozwala na dokładne obliczenia poprawki górniczej od szybu. Ta niedokładność ma konsekwencje w błędnych obliczeniach gęstości. By tego uniknąć, należy

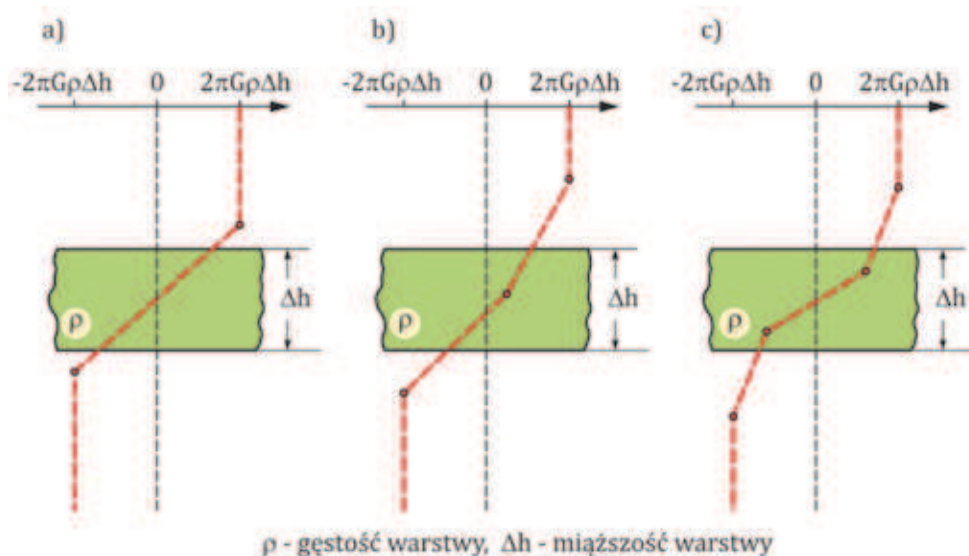
przewód szybowy dzielić na odcinki o takich interwałach głębokościowych jak układ przewierconych warstw. Innymi słowy, szyb zostaje „zasypany” materiałem skalnym o gęstościach i ułożeniu odpowiadającym sytuacji geologicznego układu warstw wokół szybu [7].

Na rysunku 5 przedstawiono przykład obliczeń gęstości w jednym z szybów GZW. Przecinał on pokład węgla „510” o miąższość około 6 m i gęstości równej $1,35 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pomiary PPRGR wykonano w osi szybu przy czym dwa punkty pomiarowe – na głębokościach 264 i 266 m, leżały w pokładzie „510”. Tym samym obliczona gęstość w tym interwale winna być zbliżona do gęstości objętościowej węgla kamiennego. Krzywe Δg^1 , Δg^2 i Δg^3 są rozkładami anomalii Bouguera odpowiednio: bez poprawki górniczej na szyb – krzywa Δg^1 oraz wraz z nią – krzywa Δg^2 i Δg^3 .

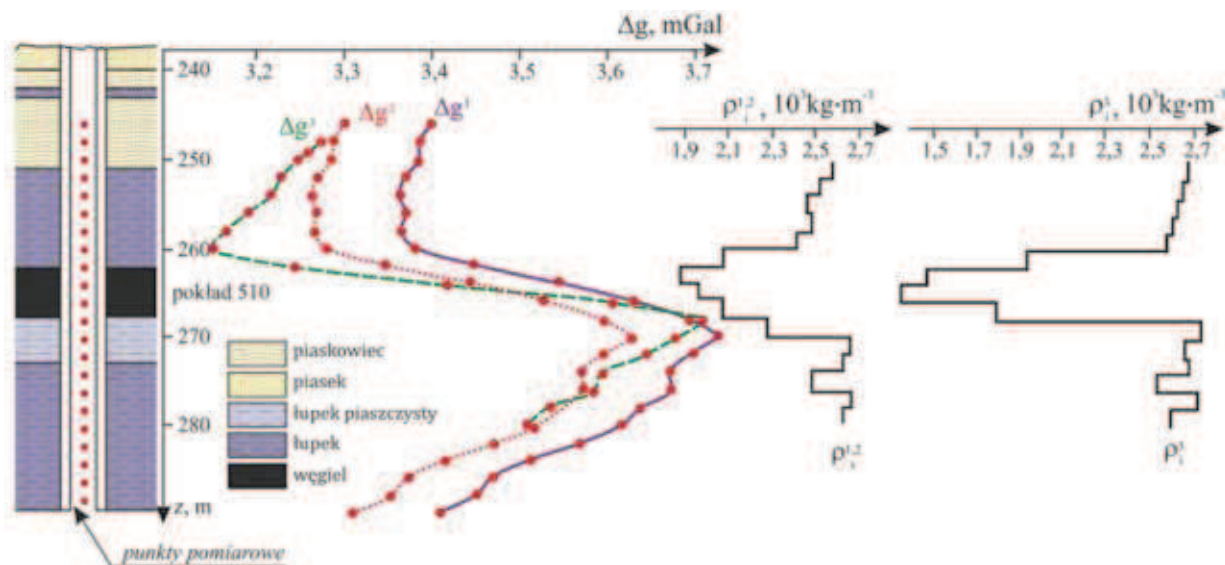
Istotna różnica pomiędzy przebiegiem Δg^2 a Δg^3 spowodowana jest sposobem obliczania poprawki górniczej siły ciężkości od szybu. W rozkładzie Δg^2 powyższa poprawka obliczona została przy założeniu jednorodnego modelu szybu a w rozkładzie Δg^3 uwzględniono faktyczny układ warstw. Densigramy ρ_i^1 i ρ_i^2 są identyczne i w przedziale pokładu „510” jego gęstość wynosi $1,89 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Powodem tak zawyżonej gęstości węgla jest błędnie obliczona poprawka górnicza od szybu aproksymowanego linią materialną. Celowym jest zatem przyjmować model szybu jako walec pionowy złożony z części odpowiadających położeniom warstw. W obrębie warstwy węgla obliczona gęstość wynosi teraz $1,36 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ – densigram ρ_i^3 .

Na błąd obliczonej gęstości interwałowej składają się błędy wynikające z obliczeń jej wartości średniej oraz błędy



Rys. 4. Nieskończona warstwa pozioma w pionowym profilowaniu grawimetrycznym
Fig. 4. Unlimited horizontal layer in vertical gravimetric survey



Rys. 5. Przykład obliczeń gęstości interwałowej; Δg^1 , Δg^2 , Δg^3 – rozkłady anomalii siły ciężkości Bouguera policzone odpowiednio: bez poprawki górniczej, z poprawką górniczą na szyb przy założeniu jego stałej gęstości oraz przy zmiennej gęstości; ρ_i^1 , ρ_i^2 , ρ_i^3 gęstości interwałowe obliczone na podstawie rozkładów Δg^1 , Δg^2 , Δg^3
Fig. 5. Example of calculating interval density; Δg^1 , Δg^2 , Δg^3 – distribution of gravitational Bouguer anomaly calculated as follows: without gravity correction, with gravity correction by shaft assuming its constant density and with variable density; ρ_i^1 , ρ_i^2 , ρ_i^3 interval densities calculated on the basis of the distributions Δg^1 , Δg^2 , Δg^3

pomiarowe – siły ciężkości i głębokości położenia punktów pomiarowych.

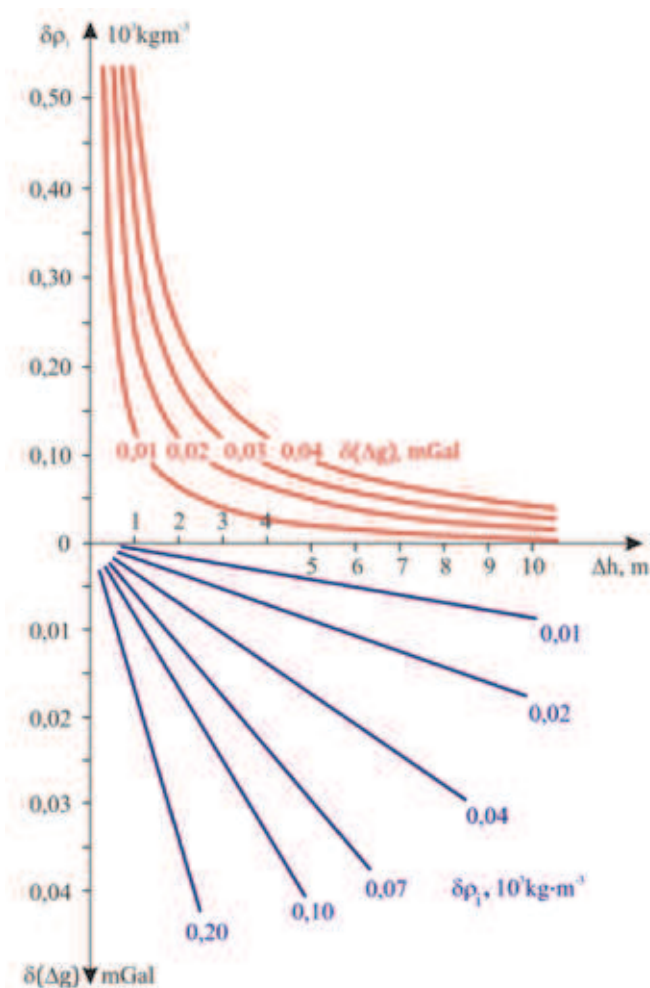
Błąd obliczeń gęstości średniej odnoszącej się do całego kompleksu skalnego, ograniczonego skrajnymi punktami pomiarowymi w szybie jest bardzo mały i osiąga wartość poniżej $\pm 0,001 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Błąd obliczeń gęstości interwałowej jest większy, z uwagi na niewielkie odległości pomiędzy punktami pomiarowymi.

Oblicza się go według wzoru

$$\delta\rho_i = \left| \frac{1}{4\pi G} \cdot \left| \frac{\delta(\Delta g)}{\Delta h} \right| \right| \quad (3.5)$$

gdzie:

$\delta(\Delta g)$ jest wartością średniokwadratowego błędu pojedynczego pomiaru siły ciężkości w szybie.



Rys. 6. Zależności błędu wyznaczonej gęstości interwałowej $\delta\rho_i$ od błędu pomiaru grawimetrem $\delta(\Delta g)$ i pionowej odległości Δh stanowisk pomiarowych w szybie

Fig. 6. Relation between the error in the calculated interval density $\delta\rho_i$ and the error of gravimeter measurement $\delta(\Delta g)$ and vertical distance Δh of the test stands in the mine shaft

Na rysunku 6 przedstawiono zależność błędu $\delta\rho_i$ od błędów pomiarów grawimetrycznych $\delta(\Delta g)$ wykonanych w punktach odległych w pionie o interwał Δh .

I tak, np. gdy badanie grawimetryczne w szybie wykonano z błędem średniokwadratowym równym $\pm 0,015$ mGal to gęstość objętościowa warstwy skalnej o miąższości np. 7 m obliczona jest z błędem mniejszym niż $\pm 0,03 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

4. Wyniki pionowego profilowania grawimetrycznego

4.1. Szyb nr 1

Pionowe profilowanie grawimetryczne w tym szybie wykonano wzdłuż dwu pionowych profili. Obserwacje siły ciężkości dokonano od dźwigara leżącego na poziomie 3 m poniżej zrębu szybu do głębokości 98 m (rys. 7a). Do 68 m p.p.t pomiary wykonano w interwale 2 m, a poniżej w odległościach 3 m. Pomiary przeprowadzono wysokoczułym grawimetrem firmy Scintrex mierzącym z dokładnością $\pm 0,01$ mGal, z wykorzystaniem specjalnego pomostu tłumiącego drgania.

Podstawą interpretacji wyników badań PPGR jest rozkład w pionie anomalii Bouguera.

Na rysunku 7b przedstawiono go w dwóch profilach pionowych - oznaczone symbolami N i S odnoszą się do pozycji umiejscowienia grawimetru na północ (N) i na południe (S) od osi szybu.

Zauważyć można, iż kształty obu rozkładów są bardzo podobne do siebie. Obserwuje się jednakowy charakter zmian siły ciężkości z głębokością. Oddaje on gęstościowe zróżnicowanie górotworu.

Zróżnicowanie to uwidocznia się w zmianie gradientu pionowej siły ciężkości, co odzwierciedlają linie przerywane widoczne na tle anomalii Bouguera.

Zmiany nachyleń tych linii wyznaczają położenia kompleksów skalnych różniących się gęstością. Wyróżniono cztery kompleksy skalne, I ÷ IV. Pierwsza granica gęstościowa występuje w osadach czwartorzędowych na głębokości 26 m. Rozdziela ona wyżej leżący kompleks zbudowany z glin od silnie zawodnionego piasku położonego niżej. Następna granica gęstościowa występuje na głębokości 60 m i odpowiada położeniu spągu ww. kompleksu piasku. Pokrywa się ona z granicą litostratygraficzną czwartorzęd/neogen.

Trzecia granica leży na głębokości 83 m w neogeńskich ilach. Stropowa ich część jak i leżące wyżej osady zawierające głównie gips mają podwyższoną gęstość objętościową w stosunku do wartości średniej, równej $2,12 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Opisana tendencja zmiany przebiegu anomalii Bouguera wraz z głębokością wydaje się zjawiskiem naturalnym. Odzwierciedla ona gęstościowe zróżnicowanie utworów skalnych. Na tle tej tendencji rysują się lokalne zmiany anomalii Bouguera świadczące o obecności stref o obniżonej bądź podwyższonej gęstości interwałowej w stosunku do wartości średniej.

W kompleksie czwartorzędowym, położonym do głębokości około 60 m, w obu profilach pomiarowych, wyróżniają się dwie strefy obniżonej gęstości. Jedna z nich leży w interwale głębokości 10 ÷ 12 m, druga zaś pomiędzy 28 m a 58 m. Płycej położona strefa odpowiada warstwie piasku zalegającej pomiędzy warstwami gliny. Jej gęstość odbiega *in minus* od wartości średniej. Głębiej położona strefa ma już dużo większą miąższość i odpowiada położeniu silnie zawodnionego drobnego piasku. W jej obrębie maksymalna odchyłka gęstości od średniej wynosi $-0,3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ i występuje w interwale 44 ÷ 48 m.

Na szczególną jednak uwagę zasługuje rozkład anomalii Bouguera w profilu N w interwale głębokości 38 ÷ 52 m. Wykreślono go w powiększeniu (rys. 7c).

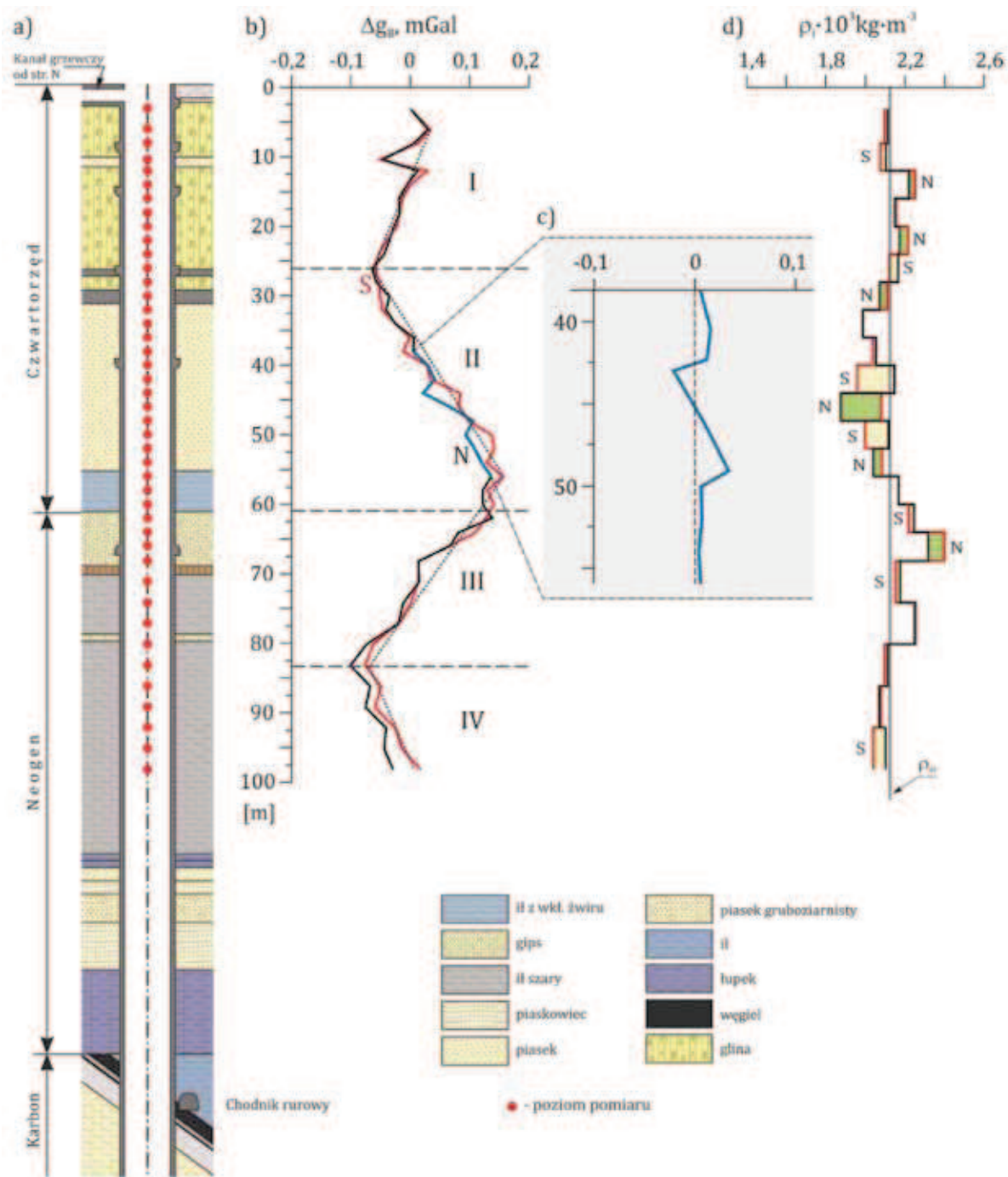
Charakterystyczny kształt tego rozkładu odzwierciedla wpływ ograniczonej w poziomie warstwy [9]. Jej miąższość wyznaczają ekstrema rozkładu anomalii, a wzajemne ich położenia wskazują na obecność strefy o obniżonej gęstości w stosunku do otoczenia. Może to świadczyć o możliwości występowania materiału skalnego za obudową szybu o znacznie obniżonej gęstości w ograniczonych rozmiarach poziomych.

Przeprowadzono analizę porównawczą wyników obliczeń gęstości interwałowej w oddzielnych profilach N i S. Wyniki zestawiono na rys. 7d. Przekonują one, iż obserwuje się zróżnicowanie w horyzontalnej zmianie gęstości na kierunku N-S; największe występują w spągowej części utworów czwartorzędowych. Symbole N i S, przy gęstościach interwałowych, informują o profilu, w którym zarejestrowano mniejszą gęstość w porównaniu do jej wartości w drugim profilu pionowym.

W interwale głębokości 44÷48 m niższe względne wartości gęstości skał za obudową szybu występują po stronie

północnej. Graniczące z tą strefą warstwy leżące zarówno powyżej jak i poniżej niej wykazują odmienną tendencję – niższe wartości gęstości występują w profilu położonym na południe od osi szybu.

W stropie kompleksu neogeńskiego zaobserwowano również horyzontalne zróżnicowanie gęstości w następujących po sobie warstwach. Z tą samą tendencją mniejszych wartości gęstości w linii N niż w linii S. Z tą jednak różnicą, że wartości bezwzględne tych gęstości są większe od jej wartości średniej.



Rys. 7. Wyniki profilowań PPGR w szybie 1:

a) przekrój geologiczny, b) rozkład anomalii Bouguera N i S, c) rozkład anomalii Bouguera w wybranym interwale głębokości, d) rozkład gęstości interwałowych w profilach N i S

Fig. 7. Results of vertical gravity profiling (PPGR) in shaft 1:

a) geological section, b) N and S Bouguer anomalies distribution, c) Bouguer anomalies distribution in the selected depth interval, d) distribution of interval densities in N and S profiles

Z powyższych rozważań wynika, że kontakt skał czwartorzędowych z neogeńskimi jest wyraźną granicą gęstościową. W części nad nią leżą lżejsze skały – pod nią cięższe – w stosunku do wartości średniej.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż w obu tych częściach zarejestrowano podobną tendencję horyzontalnych zmian gęstości w następujących po sobie warstwach.

Zaobserwowane zjawiska w domenie gęstościowo-miąższościowej pozostają w ścisłym związku z położeniem strefy, w której stwierdzono awarię obudowy szybowej. Jest to potwierdzeniem dużej skuteczności zastosowanej metody do badań szybów górniczych.

4.2. Szyb nr 2

Pomiary PPGR w tym szybie wykonano również wzdłuż dwu pionowych profili – N i S w interwale głębokości $7,5 \div 75$ m od zębca szybu.

Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8.

Rozkłady anomalii Bouguera w obu profilach pionowych generalnie są zgodne ze sobą. Charakter zróżnicowania anomalii wynika ze zmian gęstości skał w górotworze. Wyróżnić można trzy kompleksy skalne, na granicy których następuje zmiana wartości gradientu pionowego siły ciężkości. Jego obrazem są różnie nachylone linie przerywane zaznaczone w kompleksach II i III (rys. 8b) oddające zarazem regionalny charakter zmian siły ciężkości w każdym kompleksie. Zmiany nachylenia tych linii wskazują, na położenia granic kompleksów skalnych różniących się gęstością.

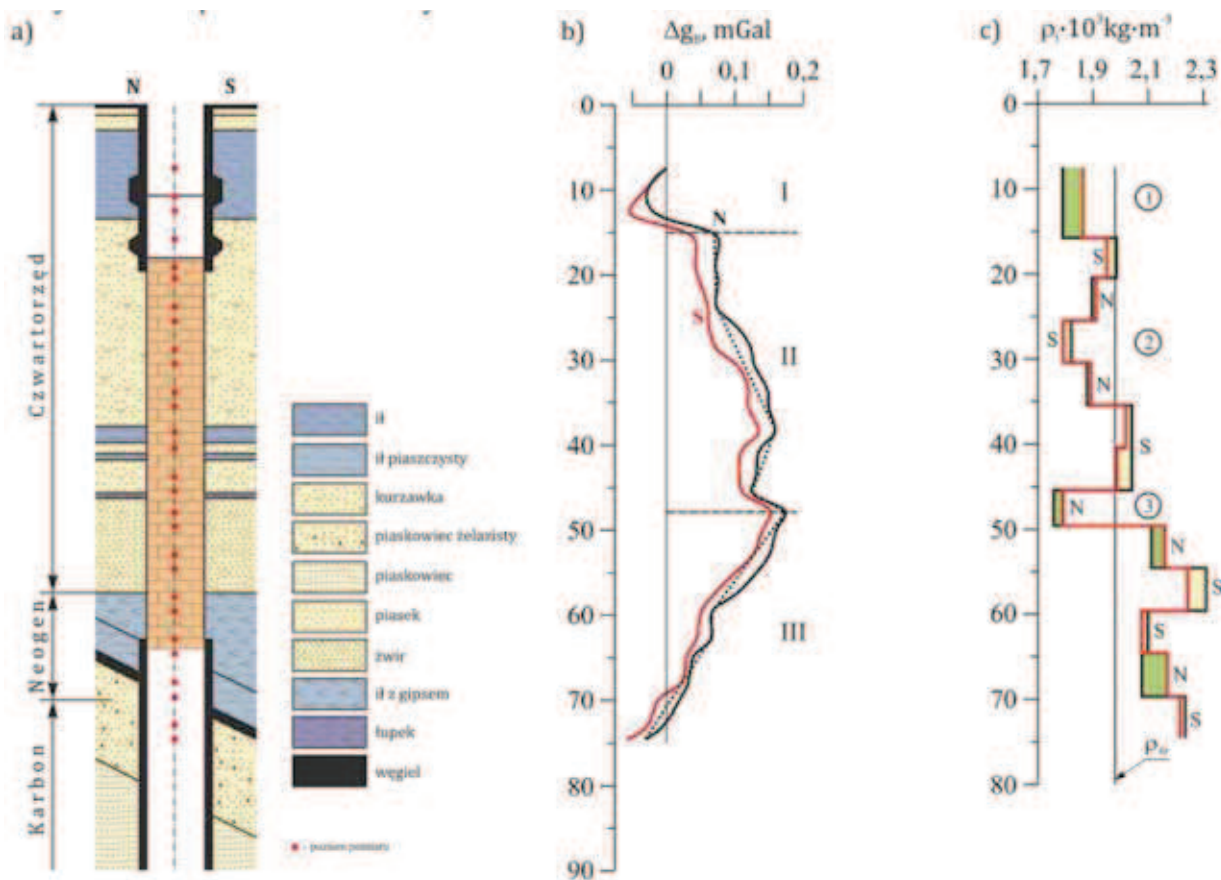
Na głębokości około 50 m od zębca szybu następuje zasadnicza zmiana charakteru przebiegu anomalii Bouguera. Do tej głębokości, w obu profilach, następuje wzrost wartości anomalii. Świadczy to o występowaniu skał o gęstości mniejszej od wartości średniej, która wynosi $1,98 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Poniżej – maleją wartości anomalii Bouguera, co wskazuje na obecność skał charakteryzujących się podwyższoną gęstością w stosunku do średniej wartości.

Położenia granic pomiędzy kompleksami są niezgodne z występowaniem granic litostratygicznych. Z dotychczasowych doświadczeń stosowania metody PPGR wynika, iż niejednokrotnie granice litostratygiczne nie pokrywają się z przebiegiem granic gęstościowych w badanym górotworze [4], [8], [9].

W kompleksie czwartorzędowym występuje ponad 32-metrowa warstwa kurzawki z nielicznymi wkładkami ilów w części spągowej. Poniżej niej występuje 11-metrowy pokład żwirów. Anomalne wartości gradientu pionowego siły ciężkości występują zarówno w stropie jak i w spągu kurzawki a nawet w górnej części osadów żwirowych.

Zatem zaznaczone granice kompleksów skalnych występują w czwartorzędzie. Pierwsza z nich leży na głębokości ok. 15 m i rozgranicza warstwy ilaste od niżej położonej kurzawki. Druga zaś, położona na głębokości około 48 m może być granicą stratygiczną. Wówczas zalegające poniżej żwiry można byłoby zaliczyć do osadów neogenu.

Jednak z punktu widzenia rozwiązywanego problemu, najistotniejsze wnioski wyciągnąć można z analizy rozkładów w pionie gęstości interwałowych (rys. 8c). Wyraźnie



Rys. 8. Wyniki profilowań PPGR w szybie 2:

a) przekrój geologiczny, b) rozkład anomalii Bouguera N i S, c) rozkład gęstości interwałowych w profilach N i S

Fig. 8. Results of vertical gravity profiling (PPGR) in shaft 2:

a) geological section, b) N and S Bouguer anomalies distribution, c) distribution of interval densities in N and S profiles

z niego widać, iż zaznaczają się trzy strefy względnie ujemnych wartości gęstości skał. Oznaczono je symbolami ①, ② i ③. Dwie z nich – ① i ③ występują przy granicach zmian charakteru anomalii siły ciężkości. Granice te, jak podano wyżej, wyznaczają położenia kompleksów I, II i III.

Strefa ② natomiast występuje w miększej warstwie kurzawki w kompleksie II.

Gęstości materiału skalnego w tych strefach są znacznie niższe niż w warstwach wyżej i niżej leżących. W przypadku strefy ① obniżenie gęstości dochodzi do $0,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ poniżej wartości średniej. Strefa ta położona jest blisko powierzchni terenu w interwale głębokości 12,0÷16,5 m. Strefa ② zalega w interwale 22,5÷35,5 m od zębca szybu. W jej obrębie maksymalne obniżenie gęstości wynosi $0,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ i ma miejsce pomiędzy 25 m a 30 m głębokości, tj. w obrębie kurzawki.

W strefie oznaczonej symbolem ③ odnotowano obniżenie gęstości o $0,3 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ w stosunku do jej wartości średniej. Należy przypomnieć, że strefa ta znajduje się w warstwach żwiru, tuż pod warstwą kurzawki.

Istotnym elementem podczas analizy obliczonych gęstości interwałowych jest błąd wyznaczenia jej wartości. Na wielkość tego błędu wpływ ma dokładność wykonywanych pomiarów grawimetrycznych, a w większym stopniu odległość w pionie pomiędzy stanowiskami obserwacyjnymi siły ciężkości. W przypadku opisanych wyżej stref błędy wyznaczonych wartości gęstości interwałowych kształtowały się następująco: dla strefy ① $\pm 0,03 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, dla strefy ② $\pm 0,02 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a dla strefy ③ $\pm 0,04 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Rozkład gęstości interwałowej (rys. 8c) wyraźnie wskazuje na brak uprzywilejowanego kierunku zmian gęstości skał za obudową szybu.

W każdym interwale obliczeniowym gęstości, symbolem N lub S zaznaczono fakt zaobserwowania w nim mniejszej gęstości w danym profilu w stosunku do drugiego profilu pionowego. Wyraźnie widać, iż ze wzrostem głębokości następują po sobie naprzemianległe oznaczenia profilu N, S, N, S. Wynika stąd, że zarówno z głębokością jak i ze zmianą warunków litostratygraficznych nie obserwuje się uprzywilejowanego kierunku zmian gęstości. Jedynym wyjątkiem jest interwał głębokości 45÷65 m. W przedziale tym, w stropowej jego części, na odcinku około 10 m większe ubytki mas poza obudową szybu występują w części północnej – N. W części spągowej natomiast, w interwale 55÷65 m mniejsze wartości gęstości zaobserwowano od strony południowej – S.

Wartości różnic gęstości interwałowych wyznaczonych pomiędzy profilami N i S wahają się od $\pm 0,06 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ w części stropowej interwału 45÷55 m do $\pm 0,08 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ w części spągowej interwału 55÷65 m. W obu przypadkach w/w różnice gęstości obliczone zostały z błędem $\pm 0,01 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dowodzi to, iż badania grawimetryczne wykonane zostały z wysoką dokładnością.

5. Podsumowanie

Badania grawimetryczne w szybie górniczym są nieinwazyjne i pozwalają na rozpoznanie warunków geotechnicznych górotworu wokół szybu. Metoda grawimetryczna nabiera

szczególnego znaczenia przy lokalizacji wymię i pustek skalnych występujących bezpośrednio poza obudową szybu.

Zastosowanie odpowiedniej metodyki badawczej, a w szczególności użycie specjalnego pomostu pomiarowego przyczynia się do osiągnięcia pozytywnych rezultatów prac. Istotnym elementem w przetwarzaniu danych pomiarowych jest nowatorska metoda obliczania poprawki górniczej siły ciężkości od szybu. Jej zastosowanie gwarantuje, iż obliczane gęstości skał i ich kompleksów zbliżone są do wartości rzeczywistych.

Zarejestrowane zmiany siły ciężkości w pionie stanowią podstawę do przeprowadzenia ich interpretacji jakościowej i ilościowej. Prowadzi to do poznania zmian za obudową szybu indukowanych działalnością górniczą w złożu. Metoda PPGR rejestruje bieżący stan górotworu wokół szybu.

Przedstawione wyniki zastosowania tej metody w dwu szybach wykazały istnienie stref obniżonej gęstości skał poza obudową szybów w rejonach stwierdzonych uszkodzeń ich obudowy oraz zmian w położeniu okładzin tubingowych.

Literatura

1. Fajkiewicz Z.: O podziemnych pomiarach grawimetrycznych w zastosowaniu do górnictwa węglowego. Wyniki prac na kopalni Miechowice. Archiwum Górnictwa 1956, t.1, z.4, 324÷355.
2. Fajkiewicz Z.: Mikrograwimetria górnicza. Wyd. Śląsk Katowice, 1980, 264.
3. Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J.: Wykrywanie metodą grawimetryczną pustek powstających za obudową szybu i zagrożeń z nimi związanych. I Konferencja nt: Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 900, seria: Górnictwo 1986, z.149, 221÷231.
4. Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J.: Badania budowy geologicznej górotworu metodą pionowego profilowania grawimetrycznego. II Konferencja nt: Postęp Naukowy i Techniczny w Geologii Górniczej Węgla Kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 960, s. Górnictwo z.172, Gliwice 1988, 169÷178.
5. Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J., Radomiński J.: The Gravimetric Logging in the Mining Shaft for the Detection of Geological Heterogeneties Behind the Shaft - Lining. 35 th International geophysical Symposium Sofia 2-5 October 1990. Proceedings II, 392÷462.
6. Madej J.: Wybrane problemy metodyki pomiarów grawimetrycznych w szybach górniczych. Zeszyty Naukowe AGH, nr 1218, Geofizyka Stosowana 1988, z.1, 269÷278.
7. Madej J.: Badanie metodą PPGR rozkładu gęstości skał oraz form strukturalnych w górotworze. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc, M-15 (235) 1991, 51÷58.
8. Madej J.: Pionowe profilowanie grawimetryczne w badaniach strukturalnych górotworu. Zeszyty Naukowe AGH nr 1480, Geofizyka Stosowana, z. 11, Kraków 1992, 114 s.
9. Madej J.: Pionowe profilowanie grawimetryczne w szybach górniczych. Mat. Konf.: XXV ZSMG pt: Geotechnika i budownictwo specjalne, Zakopane 18-22.03.2002, KGBiG AGH, 411÷425.
10. McCulloh H.: A confirmation by gravity measurements of an underground density profile on core densities, Geophysics 1965, 30: 1108÷1132.
11. EDCON: Borehole Gravity Density Logging, EDCON, Denver, Colorado 1977.